

Wageningen IMARES

Institute for Marine Resources & Ecosystem Studies

Location IJmuiden
P.O. Box 68
1970 AB IJmuiden
The Netherlands
Tel.: +31 255 564646
Fax: +31 255 564644

Location Yerseke
P.O. Box 77
4400 AB Yerseke
The Netherlands
Tel.: +31 113 672300
Fax: +31 113 573477

Location Den Helder
P.O. Box 57
1780 AB Den Helder
The Netherlands
Tel.: +31 22 363 88 00
Fax: +31 22 363 06 87

Location Texel
P.O. Box 167
1790 AD Den Burg Texel
The Netherlands
Tel.: +31 222 369700
Fax: +31 222 319235

Internet: www.wageningenimares.wur.nl
E-mail: imares@wur.nl

Report

C034/07

2006 stock assessment of North Sea plaice using a Bayesian catch-at-age model

Lisa Borges, Sarah Kraak, Hans Bogaards and Marcel Machiels

Commissioned by:

Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Postbus 20401
2500 EK Den Haag

Wageningen UR (Wageningen University and Research Centre) and TNO have combined forces in Wageningen IMARES. We are registered in trade register of the Chamber of Commerce Amsterdam no. 34135929 VAT no. NL 811383696B04.



The management of Wageningen IMARES accepts no responsibility for the follow-up damage as well as detriment originating from the application of operational results, or other data acquired from Wageningen IMARES from third party risks in connection with this application.

This report is drafted at the request of the commissioner indicated above and is his property. Nothing from this report may be reproduced and/or published by print, photoprint microfilm or any other means without the previous written consent from the commissioner of the study.

Table of Contents

Table of Contents	2
Uitgebreide Nederlandse samenvatting	3
1. Introduction	9
2. Methods.....	9
3. Results.....	10
4. Discussion.....	15
References	17
Appendix I – Diagnostic plots of the Bayesian catch at age model.....	18

Uitgebreide Nederlandse samenvatting

Plaats binnen het F-project

In het F1-werkpakket van het F-project houden we ons bezig met verbetering van de toestandsbeoordeling van schol en tong. Problemen rond de onzekerheid en bias in de toestandsbeoordeling en de gegevens die daarvoor worden gebruikt, worden onderzocht in een serie van kleinere deelstudies, die elk een probleem bestuderen. In vier deelstudies, producten A10, A11, A12 en A14, benaderen we het probleem van de onzekerheid in de toestandsbeoordeling. Dit rapport betreft product A12, onzekerheid in de toestandsbeoordeling van Noordzee schol aan de hand van een Bayesiaans “catch at age”- model (vangst per leeftijd).

Onzekerheid

In bestandsschattingen zijn twee bronnen van onzekerheid te onderscheiden: onzekerheid ten gevolge van de gebruikte gegevens en onzekerheid ten gevolge van de aannames die gemaakt worden om het model te gebruiken. In een serie van vier deelstudies proberen we inzicht te krijgen in het aandeel van beide onzekerheidsbronnen in de totale onzekerheid van de bestandsschatting. In de eerste drie deelstudies onderzoeken we drie structureel zeer verschillende modellen voor de bestandsschatting. Deze modellen doen elk verschillende aannames over de populatiedynamica en de manier waarop je deze kunt reconstrueren vanuit de gegevens. Vergelijking van de modeluitkomsten (vierde deelstudie) geeft ons een beeld van de onzekerheid die veroorzaakt wordt door de modelkeuze. Binnen elk van de eerste drie deelstudies variëren we modelaannames, waardoor we inzicht krijgen in de onzekerheid veroorzaakt door deze aannames. Door het toepassen van de Bayesiaanse methode krijgen we informatie over de onzekerheid die door de gegevens veroorzaakt wordt. In deze deelstudie is het model dat we onderzoeken een zogenaamd “statistical catch at age model”.

Het is van belang te beseffen dat de methode die hier gepresenteerd wordt twee nieuwe elementen heeft: de Bayesiaanse benadering en het feit dat het een statistical catch at age model betreft. Deze twee nieuwigheden staan in principe los van elkaar.

De Bayesiaanse benadering

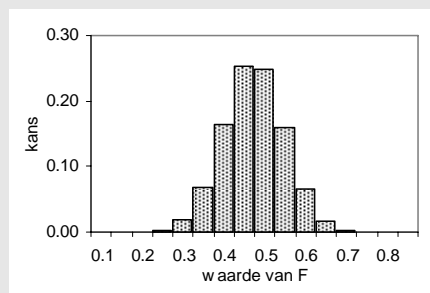
Bayesiaanse statistiek wordt de laatste jaren meer en meer gebruikt voor bestandschattingen binnen en buiten ICES. Twee redenen om Bayesiaanse statistiek te gebruiken zijn:

- (1) dat onzekerheden in de schattingen expliciet gemaakt worden
- (2) dat informatie uit andere bronnen meegenomen kan worden in een analyse.

Het feit dat de parameters met onzekerheid geschat worden maakt het mogelijk om deze onzekerheid ook door te vertalen naar de prognoses en te presenteren in de vorm van risicotabellen. Met zulke tabellen, waarin bijvoorbeeld de kans dat het bestand onder Blim komt wordt aangegeven voor verschillende vangstopties, hebben de beheerders een instrument om beter de risico's in te schatten van de verschillende opties. In de traditionele optietabellen wordt de onzekerheid niet getoond, en wordt ten onrechte de indruk gewekt dat als de beheerder een bepaalde TAC kiest we zeker weten welke SSB er in het jaar daarna zal zijn.

1. *Onderzekerheden expliciet gemaakt.*

In de Bayesiaanse statistiek wordt voor elke te schatten parameter (bijvoorbeeld visserijsterfte F) de waarschijnlijkheid berekend dat deze een bepaalde waarde heeft, gegeven de gebruikte gegevens. Er wordt dus niet een puntschatting van de parameter gegeven, maar een kansverdeling, zoals in de fictieve figuur hieronder te zien is.



Volgens deze fictieve figuur is kans dat $F = 0.45$ of $F = 0.5$ erg groot, maar er bestaat ook een kleine kans dat $F = 0.3$ of $F = 0.65$. Deze verdeling kan smal of breed zijn, wat overeenkomt met respectievelijk grote zekerheid of grote onzekerheid over de parameter. In de traditionele benadering maken we de mate van onzekerheid niet zichtbaar.

2. *Kennis of informatie uit andere bronnen meenemen*

Als men vooraf al een idee heeft rond welke waarde een bepaalde parameter zal zitten, bijvoorbeeld gebaseerd op andere studies, dan kan deze kennis meegenomen worden. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat een analyse van een ei-survey aangeeft dat de paaibomaas (SSB) in een bepaald jaar tussen de 280 000 en de 300 000 ton ligt. Het is essentieel dat die andere studie op andere gegevens gebaseerd is, zoals aantallen eieren uit een ei-survey; dezelfde gegevens, zoals vangstgegevens, mogen niet twee keer worden gebruiken. Met deze informatie wordt dan voor elke te schatten parameter de waarschijnlijkheid berekend dat deze een bepaalde waarde heeft, gegeven de gebruikte data en gegeven deze extra informatie. Op deze manier kunnen resultaten van verschillende studies aan het model toegevoegd worden.

Catch at age modellen

In statistical catch at age modellen wordt de historische ontwikkeling van de populatie als volgt gereconstrueerd (zie de fictieve matrix hier onder).

leeftijd/jaar	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
1									
2									
3									
4									

In elke cel van de matrix komt uiteindelijk het geschatte aantal van een bepaalde leeftijdsgroep in een bepaald jaar te staan. Stel dat de getallen in de donkergrijze cellen (het eerste jaar [1980] en de jongste leeftijd [1]) bekend zijn en dat de jaarlijkse sterfte (natuurlijke sterfte + visserijsterfte) bekend is, dan kunnen de getallen in de lichtgrijze cellen worden uitgerekend (langs de diagonaal, aangegeven met pijlen). Als dergelijke berekeningen worden gemaakt, worden in eerste instantie willekeurige getallen in de donkergrijze cellen gezet en worden ook voor de visserijsterfte willekeurige getallen genomen (voor de natuurlijke sterfte wordt zoals gewoonlijk een vaste aanname van bv. 0.1 gedaan). Dan worden de getallen in de lichtgrijze cellen uitgerekend en ook worden de bijbehorende vangsten uitgerekend. Vervolgens worden deze gemodelleerde vangsten vergeleken met de waargenomen vangsten. Het doorlopen van dit proces van berekeningen wordt ook wel een iteratie genoemd en zo'n iteratie kan verschillende keren achter elkaar worden doorlopen. In deze volgende iteraties kiest het programma steeds iets andere waarden voor de donkergrijze cellen en de visserijsterfte, net zolang totdat het verschil tussen de gemodelleerde vangsten en de waargenomen vangsten minimaal is. Op dat moment is de reconstructie bereikt die het beste bij de gegevens past: dit wordt de schatting van de historie van de populatie en de visserijsterfte (de bestandsschatting). Een aanname van dit model is dat de vangstgegevens zelf onzeker zijn (dit in tegenstelling tot het traditioneel gebruikte XSA-model, dat aanneemt dat de vangstgegevens exact zijn).

Het voor deze studie gebruikte model werkt in principe zoals hierboven is uitgelegd, maar is uiteindelijk nog iets ingewikkelder, omdat het ook nog gekalibreerd wordt met survey-gegevens. Een belangrijke eigenschap van het gebruikte model is dat er niet voor elke cel in de matrix een afzonderlijke visserijsterfte geschat wordt (zoals in de traditioneel gebruikte XSA wel het geval is), maar dat de visserijsterfte wordt opgebouwd uit een leeftijdspatroon en een jaarniveau. Deze eigenschap heet "separability" en dit type model heet "separable model". In een separable model wordt het patroon van de relatieve visserijsterftes voor de verschillende leeftijdsgroepen geschat en aangenomen wordt dat dit patroon over de hele tijdserie constant is. Daarnaast wordt het absolute niveau van visserijsterfte voor elk jaar apart geschat. Er wordt dus een leeftijdseffect en een jaareffect geschat.

Het model dat in deze studie gebruikt is, heeft dus een andere structuur dan het traditioneel gebruikte XSA-model, met ondermeer andere modelaannames over de visserijsterfte en de vangstgegevens. Verder hebben we dit model zoveel mogelijk laten lijken op de traditionele bestandsschatting, zodat we zeker weten dat de verschillen in uitkomsten voortkomen uit de verschillen in modelaannames. Zo hebben we dezelfde vangst- en survey-gegevens gebruikt en dezelfde waarde voor de natuurlijke sterfte (0.1) aangenomen. Bovendien is de korte termijn voorspelling zoals gewoonlijk gebaseerd op een aanname van gelijke visserijsterfte (*F status quo*) voor het lopende jaar. Voor de rekrutering in 2006, 2007, en 2008 hebben we echter het

geometrisch gemiddelde genomen (en niet zoals in ICES de uitkomst van de RCT3-methode gebaseerd op de laatste survey-gegevens).

Demersale werkgroep

In de demersale werkgroep van september 2006 hebben we een voorloper van de versie die hier beschreven wordt toegepast op de bestandsschatting van Noordzee schol. Deze voorloper bevatte echter nog onjuistheden. Inmiddels is het model verder ontwikkeld. Indien mogelijk hopen we het model te vervolmaken (zie discussie) zodat we het uiteindelijk in de demersale werkgroep naast de traditionele bestandsschatting kunnen presenteren.

Resultaten

De resultaten van het Bayesiaanse catch at age model komen over het algemeen goed overeen met de bestandsschatting met XSA van ICES 2006 (Figuur 1; in de figuur staan van het Bayesiaanse catch at age model de medianen en de intervallen waarbinnen de parameter met een waarschijnlijkheid van 95% ligt, evenals de XSA-schattingen). F_{bar} (visserijsterfte gemiddeld over de leeftijden 2 tot 6) neemt toe tot aan de jaren '90, waarna deze fluctueert. In 1999 was F_{bar} laag vergeleken met andere jaren en sinds 2002 is F_{bar} sterk gedaald. De Bayesiaanse schattingen van F_{bar} zijn over het algemeen iets lager dan de XSA-schattingen. Wat betreft de rekrutering komen de resultaten goed overeen behalve in de laatste twee jaar, waar het Bayesiaanse model de rekrutering hoger schat. Het Bayesiaanse model schat de SSB hoger dan XSA, behalve in de jaren 1994-2004 waarvoor de Bayesiaanse schattingen juist lager zijn. Het globale patroon dat de SSB vanaf het eind van de jaren '80 gedaald is tot op de helft van het historische niveau komt overeen.

Voor de korte termijn voorspelling is de *F status quo* gebruikt (namelijk de *F* van 2005, net als in de ICES-voorspelling). Volgens de Bayesiaanse voorspelling zal de SSB flink omhoog gaan, tot 291 000 ton in 2008, terwijl deze volgens ICES-voorspelling constant net onder de 200 000 ton blijft (Figuur 2; deze figuur is een voortzetting van Figuur 1 over de jaren 2006-2008). De Bayesiaanse voorspelling van SSB heeft wel zeer grote intervallen van 95% waarschijnlijkheid.

Tabel 3 in het rapport laat zien wat de kans is dat F_{bar} in werkelijkheid boven F_{lim} of F_{pa} (respectievelijk de limiet- en voorzorgswaarden voor visserijsterfte) zit, uitgaande van *F status quo* in 2006 (gelijkblijvende visserijsterfte). Deze kansen zijn volgens de analyse klein (2% en 11% respectievelijk). De kans dat de paaibiomassa in 2006 in werkelijkheid onder B_{lim} of B_{pa} (respectievelijk limiet- en voorzorgswaarden voor paaibiomassa) zit is groter (7% en 47% respectievelijk).

Tabel 4 in het rapport laat de kans zien, als voor 2007 een visserijsterfte gelijk aan *F status quo* toegestaan wordt (een *F*-multiplier van 1.0 in de traditionele optietabel), dat aan het eind van dat jaar (begin 2008) de SSB onder B_{lim} of B_{pa} valt (respectievelijk 6% en 25%). Zo zou men voor elke *F*-multiplier in de traditionele optietabel de kans kunnen aangeven dat daarmee de SSB in 2008 onder B_{lim} of B_{pa} valt.

Discussie

De verschillen tussen de uitkomsten van het statistical catch at age model en de XSA zijn waarschijnlijk als volgt te verklaren. De aanname binnen het catch at age model dat het leeftijdspatroon van visserijsterfte constant is over de tijd, is waarschijnlijk een onjuiste aanname. De schattingen met XSA, waarin het leeftijdspatroon vrijgelaten wordt om per jaar te variëren, laten immers zien dat dit patroon de laatste jaren sterk veranderd is (Figuur 3). Sinds ongeveer 2000 is de visserijsterfte vooral heel hoog op 2-jarige vis, en veel minder hoog op oudere vis. De demersale werkgroep denkt dat dit komt door een combinatie van de verschuiving van de vloot naar het zuiden en de verschuiving van de jonge schol van de kust af.

Deze verandering wordt door XSA wel opgepikt, maar door het catch at age model niet, omdat het laatste model dit patroon juist als constant aanneemt.

Het gevolg van deze aanname is dat het model een constant leeftijdspatroon probeert te schatten dat gemiddeld het best bij de gegevens past. Daardoor zal dit geschatte patroon voor het verre verleden een iets te hoge sterfte op jonge vissen geven en voor de recente jaren een iets te lage. In de gereconstrueerde populatie moeten dus voor de recente jaren veel rekruten verondersteld worden, om bij een relatief lage visserijsterfte op de jonge leeftijdsgroepen toch bij de relatief hoge vangsten van jonge vissen te passen. Inderdaad wordt de rekruterings in de laatste jaren door het catch at age model hoger geschat dan door XSA. Bovendien wordt voor het verre verleden een te lage visserijsterfte en dus een te hoge overleving voor oudere vissen verondersteld, waardoor de SSB in het verre verleden iets te hoog geschat wordt. Voor de meer recente jaren wordt de visserijsterfte op oudere vissen juist iets te hoog geschat waardoor de SSB te laag wordt geschat.

Aangezien in het meest recente verleden te hoge rekruterings wordt geschat en bovendien te lage sterfte op jonge vissen, zal het model schatten dat er te veel jonge vis aanwezig is die in de nabije toekomst volwassen wordt en tot de SSB zal gaan behoren. Dit verklaart waarom de korte termijn voorspelling van het catch at age model zoveel optimistischer is ten aanzien van de ontwikkeling van de SSB dan de door ICES gebruikte voorspelling die waarschijnlijk realistischer is.

Deze studie laat zien hoe de aannames de uitkomsten kunnen beïnvloeden. De aanname van een constant leeftijdspatroon is waarschijnlijk onjuist, en daarom moeten we de resultaten van de bestandsschatting door het catch at age model helaas wantrouwen. Een verbeterd catch at age model zou twee leeftijdspatronen kunnen aannemen: één voor het recente verleden, bijvoorbeeld vanaf het jaar 2000, en één voor het verre verleden van voor 2000. Een geleidelijk veranderend leeftijdspatroon zou ook gemodelleerd kunnen worden.

Ook al moeten we de absolute waarden van de uitkomsten wantrouwen, het is de moeite waard te kijken naar de voordelen van de Bayesiaanse benadering.

Deze studie laat zien dat de Bayesiaanse methode de onzekerheden van de bestandschatting en de korte termijn voorspelling goed in beeld brengt. De onzekerheid in de schattingen, zoals die in Figuur 1 te zien is, is de onzekerheid ten gevolge van de gegevens zoals die in dit model gebruikt worden om de historie te reconstrueren.

Zoals te verwachten was, is de onzekerheid ten aanzien van het verre verleden het kleinst en wordt deze voor de recentere jaren groter. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat van de jaarklassen in een ver verleden inmiddels alle gegevens binnen zijn, terwijl de gegevens die een recente jaarklas betreffen nog lang niet allemaal binnen zijn omdat die vissen nog voor een groot deel in de zee rondzwemmen. De onzekerheid ten aanzien van de toekomst is natuurlijk het grootst.

De risicotabellen laten een voorbeeld zien van het soort output dat met de Bayesiaanse benadering verkregen kan worden. In tabel 4 is af te lezen wat het risico is om in 2008 onder Blim of Bpa te vallen onder de optie van F *status quo* in 2007 (een F-multiplier van 1). In principe kunnen deze risico's worden uitrekend voor alle opties (alle F-multipliers) in de klassieke optietabel. De klassieke optietabellen wekken onterecht de indruk dat we precies weten hoe groot de SSB in 2008 zal zijn bij elke F-multiplier. Met risicotabellen heeft de beheerder een beter beeld van de risico's van bepaalde beheersopties, gegeven de onzekerheid.

In deze studie is alleen de onzekerheid ten gevolge van de opgewerkte gegevens in beeld gebracht. Onzekerheden die we nog niet hebben meegenomen is de onzekerheid ten gevolge van de opwerkingen zelf en de onzekerheid ten gevolge van aannames en modelkeuze. De werkelijke onzekerheid in de bestandsschatting is dus nog groter dan die we in deze studie

zien. Dit betekent ook dat de risico's om bijvoorbeeld in 2008 onder Blim te vallen in werkelijkheid anders zijn dan die hier gepresenteerd zijn. Van de totale onzekerheid zouden we een beter beeld kunnen krijgen door verschillende modellen in één Bayesiaans supermodel te verenigen.

1. Introduction

Bayesian methods assume a prior probability distribution of a parameter of interest, and jointly with the likelihood distribution of the observed data, creates an updated probability (called posterior) distribution where the unknown parameter is inferred from. Bayesian statistics thus provide a method for expressing uncertainty of an unknown parameter probabilistically (www.bayesian.org). Bayesians differs from frequentists, which cannot assign probabilities to things outside the scope of their definition. In particular, frequentists attribute probabilities only to events, while Bayesians apply probabilities to arbitrary statements. Bayesian methods have been widely used in biological sciences and fisheries in the Pacific Ocean, and recently in European fisheries science applied to stock assessment (e.g. McAllister et al., 2001; Nielsen and Lewy, 2002; Lewy and Nielsen, 2003; Azevedo, 2005).

The majority of the stock assessments currently provided by ICES are deterministic ones, i.e. point estimates of fishing mortality and spawning stock biomass are estimated for the historic years, the current year and the short-term future. However, there is evidence that the stock assessment estimates are uncertain, since there are several stocks with a clear retrospective bias (e.g. North Sea plaice, WGNSSK, 2006). This uncertainty should be clearly stated, for example in the format of a decision table, if these estimates are to be used as a basis for fisheries management. While studying the uncertainty in stock assessment models one can also determine the origin of this uncertainty, namely if it is caused by the model assumptions and/or introduced by the data. For example, one can determine the sensitivity of the stock assessment model to changes in the assumptions of constant catchability and natural mortality. Furthermore, catch at age data are assumed to be measured without error in the majority of ICES assessments. This assumption however is not valid and this may contribute to the model uncertainty.

The objective of this study was first to provide the results of the current North Sea plaice stock assessment with better estimates of uncertainty, while at the same time study the origins of that uncertainty.

2. Methods

The statistical catch at age model is a model that uses forward projection, while the traditional VPA based assessment sums up the catches along cohorts. The statistical catch at age is more flexible than a VPA type of assessment; it does not require age information for every year. For this study a statistical catch at age model was created in a Bayesian framework to assess the North Sea plaice stock. The model is based on the code made available by Azevedo (2004). The model runs in a WinBugs environment, a free available software.

The Bayesian statistical catch at age model developed was made as similar as possible to the 2006 ICES WGNSSK XSA assessment of North Sea plaice. The model is based on the total international catch at age data (70% of which are Dutch catches; 1-10 ages where age 10 is a plus group, 1957-2005) and three survey indices: Bottom Trawl Survey with Isis (BTSL, 1-9 ages, 1985-2005) and Tridens (BTST, 1-9 ages, 1996-2005) vessels and Sole Net Survey (SNS, 1-3 ages, 1982-2005). The model considers a separable fishing mortality, the product of selectivity at age and annual fishing mortality rate. Furthermore, the Bayesian model assumes constant catchability by each survey. The Bayesian catch at age model also incorporates seven uniform prior distributions for selectivity at age, annual fishing mortality, recruitment, initial population size and catchability per survey. Natural mortality was considered fixed at 0.1 (value assumed by the WGNSSK).

The model is estimated using the Markov Chain Monte Carlo (MCMC) approach with Gibbs sampling. The model was run for two chains with 50000 iterations each and sampled every 100 iterations to ensure uncorrelated results. Burn-in period, where the MCMC chain is still stabilizing, was taken as the first 1000 iterations.

Recruitment was constrained to vary until an historical maximum of 5 million estimated by the 2005 ICES working group. Initial stock size was also constrained at a maximum of the 2 million estimated by the 2005 ICES assessment. Variability of the input data for the Bayesian model was modelled as a gamma distribution considering a CV of 40% in the catches (based on the results by Kraak & Pastoors, 2004) and a 10% CV in the surveys, since survey data are usually considered to be more precise (see Table).

Table 1. Summary of the priors considered in the Bayesian catch at age model estimated.

Description	Parameter	Distribution	Values
Variability of catch	var	Gamma	(6.25,13325)
Variability of survey	var.s	Gamma	(100,0.575)
Selectivity at age	Sage	Uniform	(0,2)
Annual fishing mortality	Fyear	Uniform	(0,2)
Recruitment	R	Uniform	(0,1)
Initial stock size	Nage1	Uniform	(0,1)
Catchability at age per survey	qs1, qs2, qs3	Uniform	(0,1)

3. Results

The results of the final Bayesian model do not differ substantially from those obtained by the 2006 ICES working group (Figure 1). F_{bar} shows an increasing trend until the 90's, after which it is variable with marked decreases in 1999 and since 2002. Nevertheless, the Bayesian estimates are in general smaller than the WG estimates, particularly at the beginning of the time series where the credible intervals do not overlap the WG estimates ($F_{bar}_{2005} = 0.44$, $F_{bar}_{XSA2005} = 0.52$). Variability is low estimated between 8-11% (95% Credible Interval - CI), increasing to 39-69% in the last year of data (Table 1).

Regarding recruitment, both models give very similar results except in the last two years, where the Bayesian model gave a slightly higher recruitment ($R_{2005} = 807$ millions, $R_{XSA2005} = 580$ millions). Variability of the recruitment time series is low, between 10-12% (95% CI), although increasing to 42-73% in the last year.

The spawning stock biomass estimated by the Bayesian model is higher than the XSA estimates, except between 1994-2004 ($SSB_{2005} = 208\,700$ t, $SSB_{XSA2005} = 193\,408$ t). The majority of the XSA estimates are outside the 95% credible interval estimates. Variability is low (2-9%) but increases to 32-50% in the 2005 estimate (95% CI). SSB has decreased since 1987 to around half of its historical values (200 000 t).

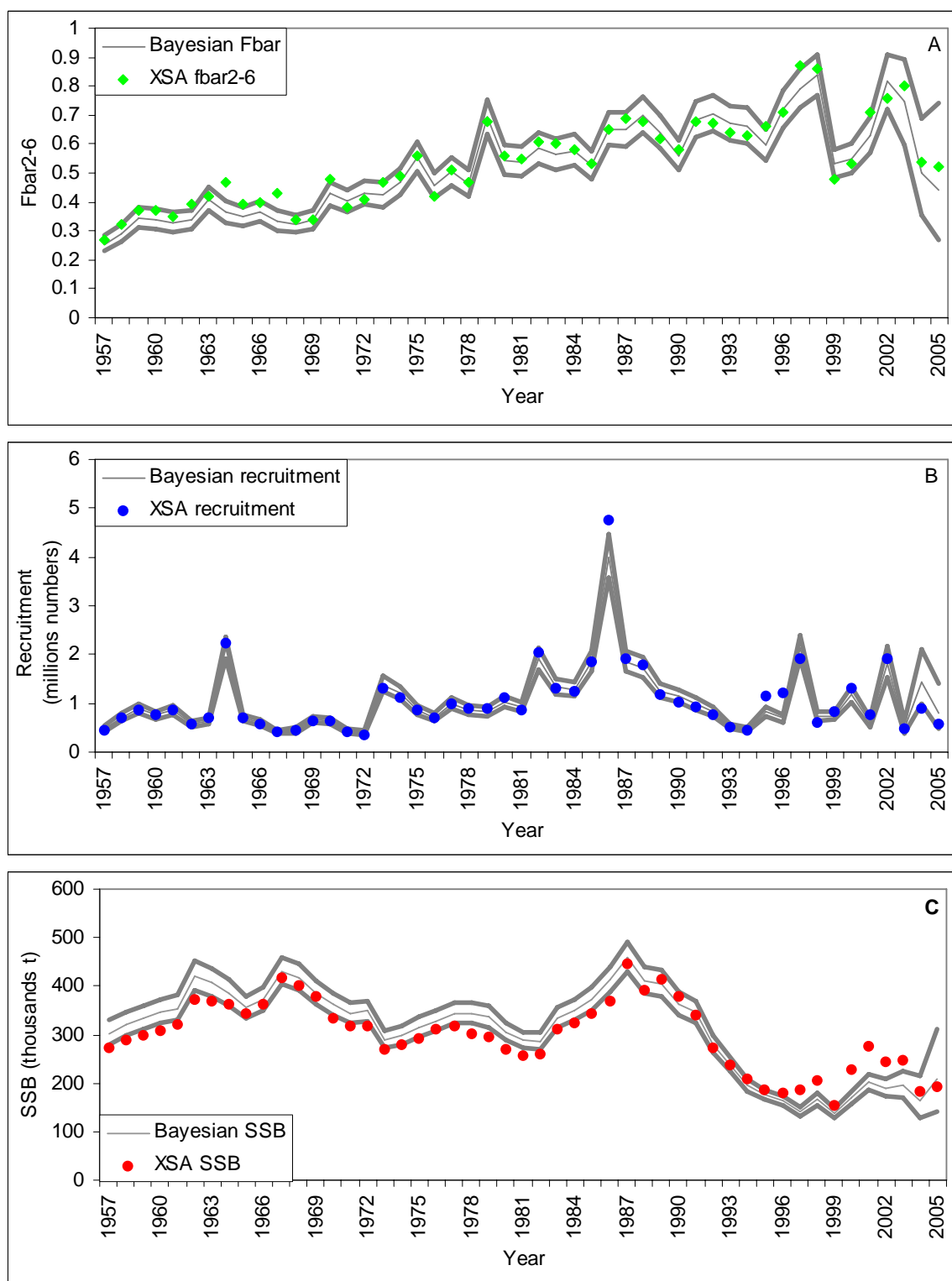


Figure 1. Estimates of F_{bar} (mean F of ages 2-6; A), recruitment (B) and spawning biomass (C) for 1957 to 2005 estimated by the 2006 WG (XSA, points) and by the Bayesian model (thin line) with corresponding 95% credible intervals (thicker lines).

Table 1. Annual Fbar (mean F of ages 2-6), recruitment (thousands numbers) and spawning biomass (SSB, tonnes), catch (thousands numbers) and corresponding 95% credible interval (CI) estimated by the Bayesian model.

Year	Fbar 2-6			Recruitment			SSB			Catch		
	2.5% CI	Median	97.5% CI	2.5% CI	Median	97.5% CI	2.5% CI	Median	97.5% CI	2.5% CI	Median	97.5% CI
1957	0.229	0.255	0.283	429300	478100	533200	280000	303000	329200	255700	285600	319400
1958	0.261	0.289	0.321	642800	715500	798200	298600	321700	347600	314100	349600	389400
1959	0.311	0.343	0.379	799200	890000	991900	310100	333200	358600	423900	472100	525700
1960	0.308	0.341	0.376	678300	756300	843300	323100	347000	373000	460400	513300	572900
1961	0.298	0.330	0.364	775000	863600	963100	330200	354300	380300	470800	524500	584200
1962	0.305	0.337	0.373	521100	581300	649500	392300	421400	452700	485000	540700	603200
1963	0.371	0.409	0.449	570800	636600	710600	379400	407400	437800	538200	598100	665300
1964	0.329	0.364	0.401	1909000	2123000	2361000	359000	385300	414000	585600	651900	726000
1965	0.315	0.349	0.384	624600	696800	777200	334700	356200	379100	688200	773300	870300
1966	0.333	0.367	0.405	540200	602300	672400	351100	373400	397200	652200	730400	818200
1967	0.303	0.335	0.369	368200	410500	458400	404300	430900	459100	507300	566600	632600
1968	0.293	0.324	0.357	397000	443400	495400	390500	416400	444400	414700	460700	512100
1969	0.307	0.339	0.373	595100	664500	742100	362400	385800	410800	398000	441500	490100
1970	0.389	0.428	0.470	573000	640000	714600	340500	362300	385800	488200	542300	602300
1971	0.366	0.403	0.443	380100	425000	475400	322900	343200	364700	419800	467000	519700
1972	0.392	0.432	0.475	349000	390500	437000	327700	348300	370300	391300	434800	483200
1973	0.383	0.423	0.466	1238000	1387000	1552000	272600	289900	308300	449200	499800	556100
1974	0.427	0.470	0.517	1080000	1208000	1353000	278800	297400	316900	657800	737700	827800
1975	0.506	0.554	0.606	775000	867500	970400	295800	315100	335600	797900	892200	998700
1976	0.415	0.456	0.501	638000	714500	800700	308800	328400	349500	601900	671700	749500
1977	0.458	0.504	0.552	882900	989700	1109000	323100	343300	365100	640300	712600	793200
1978	0.421	0.464	0.510	759200	852300	956900	323600	343700	365400	596100	664700	742100
1979	0.634	0.692	0.754	737200	826300	926200	315600	335900	358000	808300	901000	1005000
1980	0.494	0.543	0.595	919600	1030000	1153000	287500	305200	324300	606000	676500	754500
1981	0.490	0.539	0.591	824200	922700	1034000	271800	288400	306300	639000	713900	798800
1982	0.532	0.584	0.640	1703000	1908000	2138000	268800	285400	303300	834600	931400	1042000
1983	0.512	0.562	0.616	1194000	1337000	1497000	313000	333000	354600	958300	1076000	1207000
1984	0.526	0.577	0.632	1152000	1290000	1445000	329800	350900	373600	984100	1101000	1231000
1985	0.477	0.524	0.575	1655000	1853000	2074000	350500	373700	398600	962800	1074000	1199000
1986	0.597	0.653	0.712	3564000	3990000	4463000	387100	412800	440400	1657000	1850000	2065000
1987	0.593	0.649	0.709	1664000	1865000	2090000	429900	459000	491000	1900000	2138000	2407000
1988	0.639	0.698	0.761	1544000	1729000	1937000	383500	410200	439100	1742000	1951000	2183000
1989	0.584	0.639	0.699	1109000	1242000	1391000	378600	405400	434500	1320000	1475000	1650000
1990	0.510	0.561	0.616	1014000	1137000	1277000	340700	363100	387300	987400	1101000	1229000
1991	0.623	0.682	0.745	877100	983300	1103000	323900	345500	368900	1020000	1137000	1269000
1992	0.644	0.705	0.768	747200	836900	938700	263600	280700	299200	855500	953200	1061000
1993	0.615	0.672	0.733	462800	518400	581200	223100	237300	252700	647400	721200	804400
1994	0.605	0.662	0.724	402200	450600	504800	183400	194900	207500	493000	549600	613100
1995	0.540	0.594	0.651	734300	823400	924400	165800	176300	187600	430800	480000	534400
1996	0.656	0.718	0.784	616200	692300	777400	153000	163300	174500	555100	620600	694800
1997	0.726	0.793	0.863	1908000	2142000	2405000	131000	140300	150400	849400	949700	1063000
1998	0.771	0.838	0.909	645500	725800	815500	154300	166100	179100	1015000	1146000	1297000
1999	0.482	0.530	0.582	656100	742500	840200	128100	137200	147200	547400	614400	688700
2000	0.499	0.550	0.605	1034000	1182000	1349000	158300	170700	184100	616300	687700	767300
2001	0.568	0.630	0.694	523900	607100	703600	187300	202100	218200	695900	781300	876900
2002	0.718	0.815	0.909	1523000	1819000	2185000	173000	189000	207500	931300	1042000	1167000
2003	0.599	0.746	0.893	385200	492100	642500	171100	194300	225900	823400	941800	1080000
2004	0.353	0.501	0.686	984000	1425000	2104000	129600	163000	214200	553800	627700	712400
2005	0.269	0.439	0.742	465600	806900	1392000	141900	208700	312400	573900	662900	769000
2006	0.269	0.439	0.742	874100	894300	915000	126900	243700	424100	584600	666000	768100
2007	0.269	0.439	0.742	874100	894300	915000	129500	280800	535900	622400	674700	738700
2008	0.269	0.439	0.742	874100	894300	915000	127300	291300	595300	631100	677700	719800

The input data for the short-term predictions was F-at-age of 2005 ($F_{bar} = 0.44$) and stock weight-at-age averaged over 2003-2005, while the recruitment used was estimated as the geometric mean of 1957 to 2003 recruitments (894 millions) (Table 1). The credible intervals of the recruitment estimates for 2005 to 2008 are very small and thus are not visible in Figure 2.

The prediction of the Bayesian catch at age model shows that with F *status quo* and with a constant recruitment, the spawning stock biomass will steadily increase reaching 291 thousand tonnes in 2008, while the WG SSB estimates remain constant. Nevertheless, the 95% credible intervals are quite wide, between 56-104% (Table 1; Figure 2).

Although the recruitment and F_{bar} estimates used as input in the short-term predictions are similar (though F_{bar} is lower) to the values used by the ICES 2006 WG ($R_{XSA} = 911\ 712$ thousands, $F_{bar_{XSA}} = 0.52$), the projected SSBs are still well above the SSB estimated by the 2006 WG, although they are included in the 95% CI. However the confidence interval on SSB probably give a better perception of the uncertainties in these projections than traditional assessments do. Furthermore, the SSB predicted by the Bayesian catch-at-age model does not follow the same pattern as the WG prediction (Figure 2).

The catch estimated in the short term prediction will increase from 670 million fish in 2006 to 680 millions in 2008. This corresponds to around 150 thousand tonnes caught, of which 77 thousand tonnes are landed (for F *status quo*, ICES 2006 WG XSA landings predictions are around 50 thousand tonnes).

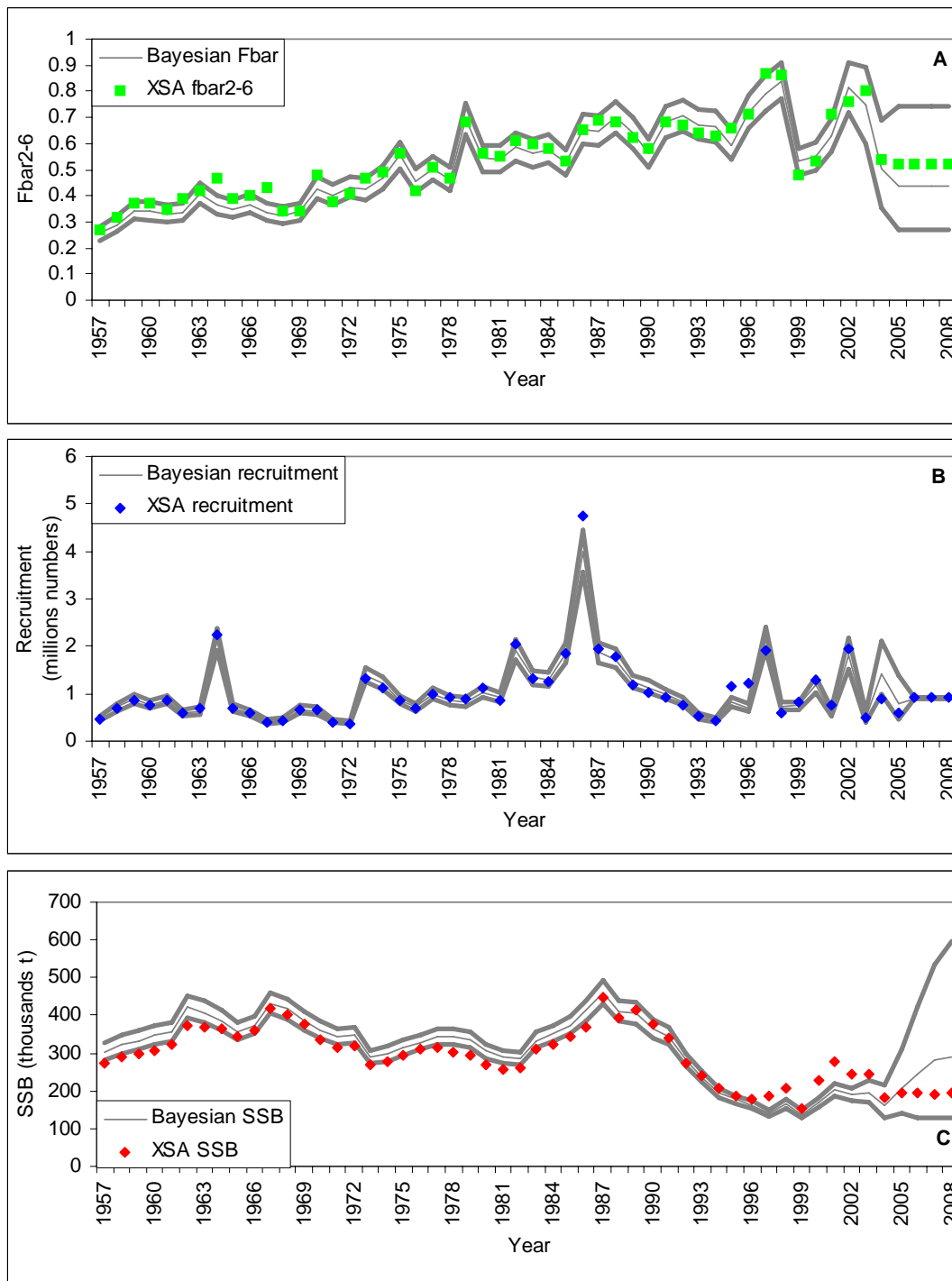


Figure 2. Estimated F_{bar} (mean F of ages 2-6; A), recruitment (B) and spawning biomass (C) by the 2006 WG (XSA, points) and by the Bayesian model (thin line) with corresponding 95% credible interval (thicker lines), and short term predictions (2006-2008) considering constant F and recruitment.

Finally, Table 3 shows that the probability of the fishing mortality estimated for 2006 being higher than the management reference points F_{lim} and F_{pa} is low, taking into account the uncertainty in the input data and model assumptions. On the contrary, there is high probability that SSB is lower than B_{pa} in 2006 (47%) and in 2008 (25%), but a lower probability that SSB is lower than B_{lim} (7% in 2006, 6% in 2008, Table 4).

Table 2. Probability table of reference points for F *status quo* ($F_{2006} = 0.44$).

	Reference point	Probability %	Comparison to F value
F_{lim}	0.75	2	higher
F_{pa}	0.60	11	higher
B_{lim}	160 000	7	lower
B_{pa}	230 000	47	lower

Table 3. Probability table of reference points for short term predictions ($F_{2007} = F_{2008} = 0.44$).

	Reference point	Probability %	Comparison to F value
2007			
B_{lim}	160 000	7	lower
B_{pa}	230 000	28	lower
2008			
B_{lim}	160 000	6	lower
B_{pa}	230 000	25	lower

4. Discussion

The values estimated by the Bayesian catch-at-age model are similar to the 2006 WG estimates regarding fishing mortality and recruitment. The SSB is however higher at the beginning and lower at the end of the time series by the Bayesian model. This mismatch between the SSB estimates of the two models may reflect the different assumptions of selectivity at age. XSA assumes that the catches are measured without errors and therefore catch data provide a means to determine F at each age and for each year. On the other hand, the Bayesian catch at age model is a separable model, i.e. fishing mortality is assumed to be a product of a constant selectivity at age by an annual variable fishing mortality rate. In practice the Bayesian catch at age model estimates an optimum single selectivity vector that adjusts to the whole time series. The mismatch between the SSB estimated might thus reflect a violation of the constant selectivity at age assumption, particularly in recent years. This hypothesis is supported by the 2006 WG (ICES, 2006) where it was found that apparently selectivity changed in the last five years compared to earlier times (Figure 3). The WG argued that the combination of a change in fishing pattern and the spatial distribution of juvenile plaice has lead to an apparent shift in selectivity towards juvenile fish. This increased mortality of younger fish and decreased mortality of older fish in recent years cannot be detected by the separable Bayesian model. As a consequence, the model estimates fewer adult fish and higher recruitment in the present, and thus higher number of adults and higher SSB in the short term future (resulting from recruits maturing at age 2 and 3).

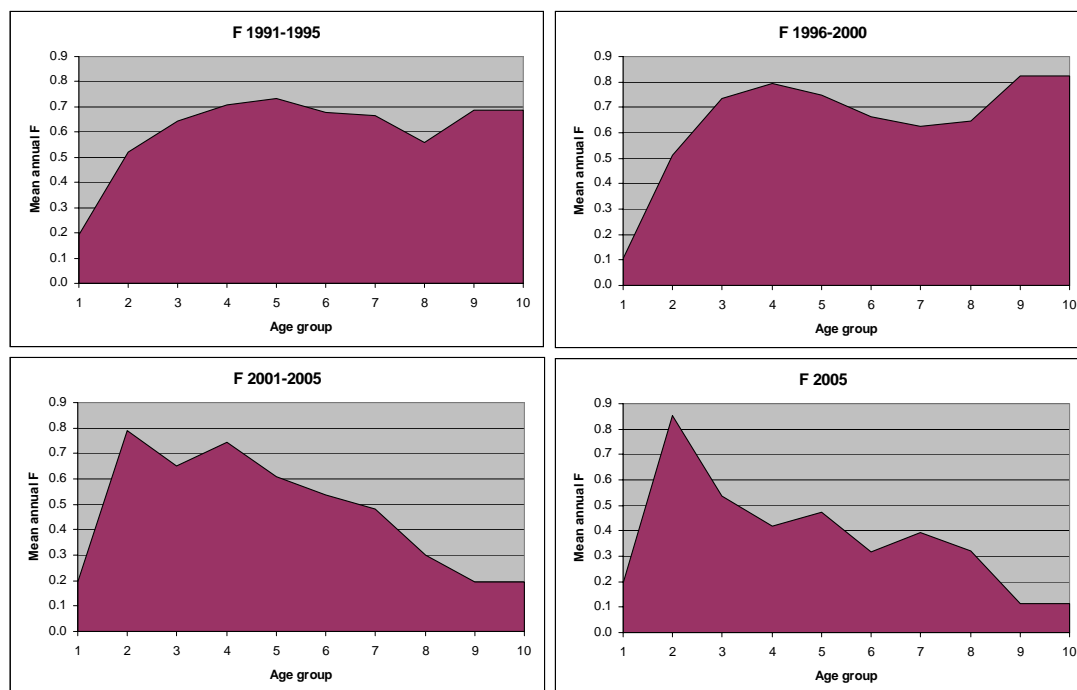


Figure 3. 2006 WG XSA estimates of fishing mortality (F) for different time periods.

Nevertheless, the Bayesian catch at age model shows the uncertainty associated with the common parameters estimated currently deterministically by ICES. This uncertainty is as expected high in the last year of assessment, and this is then transferred into the predictions of SSBs. This study shows that catch predictions have a variability of around 10%. This variability is quite low considering the high error assumed for the input catch-at-age data (CV of 40%). Furthermore, the variability assumed in the catch data (discards and landings) is probably underestimated in the younger ages, since it was based on the results by Kraak and Pastoors (2004) and these authors considered only landings data in their study. Moreover, our study assumes the same variability in all ages, which is most likely an underestimation in younger ages and older while the opposite is true in intermediate ages.

Finally, the probability tables example demonstrates the power of a Bayesian approach to a catch-at-age model to determine the risk of an estimated value being wrong and in fact be above or below a predetermined management target or limit. The probability tables express in a management perspective the uncertainty associated with estimating a point value based on uncertain data and model assumptions, as is the case in stock assessment models. The probability tables presented here for only F *status quo* can be calculated for any level of fishing mortality (the WG F-multipliers).

Future work may include short term predictions over a known period (in practice using a shorter time series) in order to determine the bias in the precision estimates (bias in the posterior distributions used in the predictions), but also an analysis of the estimated numbers at age to determine the soundness of the hypothesis of the change in the selectivity at age in recent years. In addition, future studies should also include an investigation of the catch-at-age variability by assuming, either two different priors for the the CV on catch-at-age input data at two different age groups (young and old) and/or a study of the variability of discard-at-age data by considering landings and discard at age data separately in the Bayesian model.

References

- Azevedo, M. 2004. Bayesian fish stock assessment with VPA. Appendix A: working document WD2 of the 2004 Working Group on Methods of Fish Stock Assessments Report: 116-127.
- Azevedo, M. 2005. Bayesian fish stock assessment with VPA. Appendix A: working document WD2 of the 2004 Working Group on Methods of Fish Stock Assessments Report. 116-127.
- ICES. 2005. Report of the working group on the assessment of demersal stocks in the North Sea and Skagerrak. 6-15 September, Copenhagen. ICES CM 2006/ACFM:09, 971 pp.
- ICES. 2006. Report of the working group on the assessment of demersal stocks in the North Sea and Skagerrak. 5-14 September, Copenhagen. ICES CM 2007/ACFM:09, 971 pp.
- Kraak, S. B. M. and Pastoors, M. A. 2004. Precision of the catch-at-age estimates from the Dutch market sampling programme. RIVO report number C044/04. 44 pp.
- Lewy, P. and Nielsen, A. 2003. Modelling stochastic fish stock dynamics using Markov Chain Monte Carlo. ICES Journal of Marine Science, 60: 743-752.
- McAllister, M.K.; Pikitch, E.K. and Babcock, E.A. 2001. Using demographic methods to construct Bayesian priors for the intrinsic rate of increase in the Schaefer model and implications for stock rebuilding. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58: 1871-1890.
- Nielsen, A. and Lewy, P. 2002. Comparison of the frequentist properties of Bayes and the maximum likelihood estimators in an age-structured fish stock assessment. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 59: 136-143.

Appendix I – Diagnostic plots of the Bayesian catch at age model

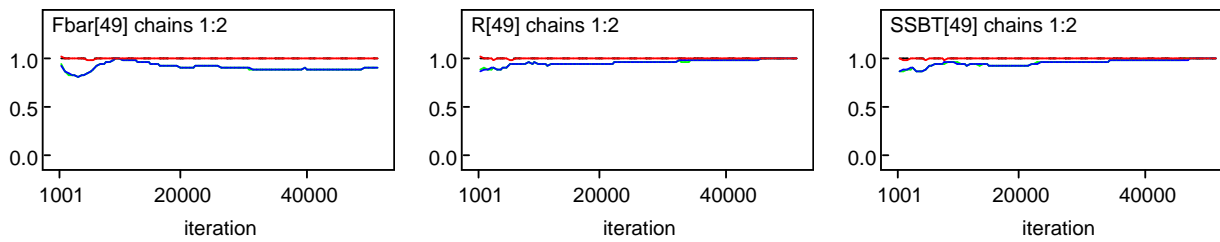


Figure 1 – Convergence diagnostic (Gelman and Rubin) for F_{bar} (mean F of ages 2-6), recruitment and spawning stock biomass in the last year of assessment.

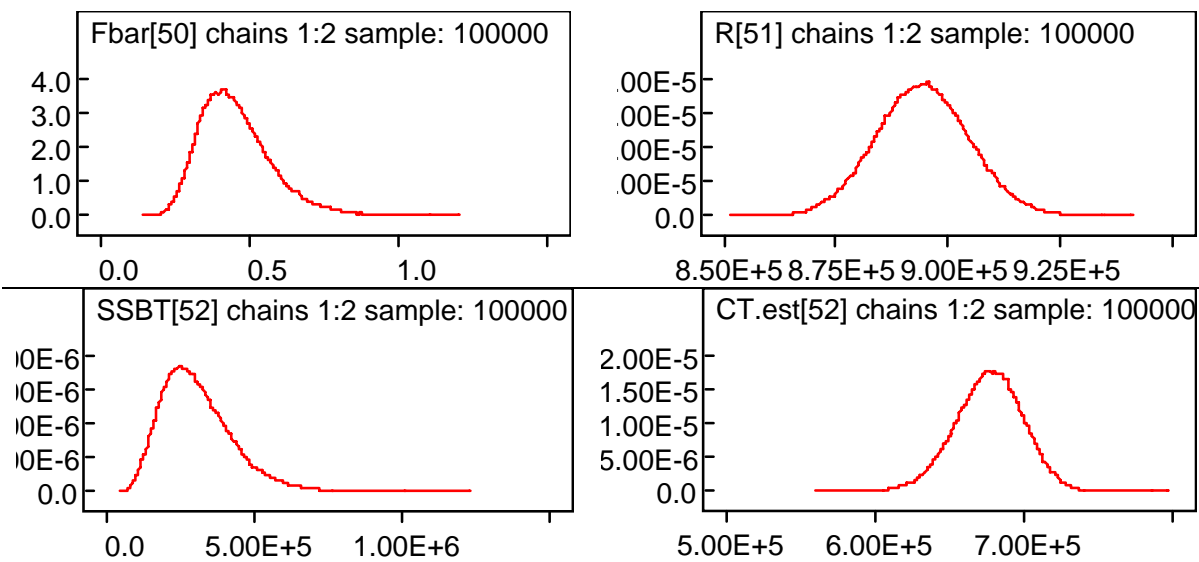


Figure 2 – Posterior densities of F_{bar} (mean F of ages 2-6), recruitment (R), spawning stock biomass ($SSBT$) and catch ($CT.est$) in the prediction years 2006, 2007, 2008 respectively.

Justification

This report

commissioned by: Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
Postbus 20401
2500 EK 's-Gravenhage

project number: 3.24.12470.02

has been produced with great care. The scientific quality has been peer-reviewed and assessed by or on behalf of the Scientific Board of Wageningen IMARES.

Drs. E. Jagtman
Head Fisheries Dept.

Signature: _____

Date: 22 March 2007

Dr. A.D. Rijnsdorp
Scientific Board

Signature: _____

Date: 22 March 2007

Number of copies: 20
Number of pages: 19
Number of tables: 3
Number of figures: 3
Number of annexes: 1